

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Могилевский государственный университет продовольствия»

Кафедра химии

ФИЗИЧЕСКАЯ И КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ

Фазовое равновесие. Диаграмма состояния фенол – вода

Методические указания к лабораторным работам
по физической и коллоидной химии для студентов
технологических и химико-технологических специальностей

Могилев
МГУП
2017

УДК 544.7
ББК 24.58

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры химии
Протокол № 1 от 31 августа 2017 г.

Составитель
ст. преподаватель Супонева Т. М.

Рецензент
к.х.н., доцент Дудкина Е. Н.

УДК 544.7
ББК 24.58

Учебное издание

ФИЗИЧЕСКАЯ И КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ
Фазовое равновесие. Диаграмма состояния фенол – вода
Методические указания

Составитель
Супонева Татьяна Михайловна

Редактор *А. А. Щербакова*
Технический редактор *Н. Г. Тверская*

Подписано в печать 10.11.2017. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Ризография.
Уч.-изд. л. 0,7. Усл. печ. л. 0,93.
Тираж 46 экз. Заказ 138.

Учреждение образования
«Могилёвский государственный университет продовольствия».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/272 от 04.04.2014.
Пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилёв.

Отпечатано в учреждении образования
«Могилёвский государственный университет продовольствия».
Пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилёв.

© Учреждение образования
«Могилевский государственный
университет продовольствия», 2017

Введение

Один из фундаментальных разделов физической химии «Фазовое равновесие» является одновременно одной из необходимых областей знаний для инженера-технолога пищевой промышленности. Именно в этом разделе изучаются переходы вещества из одной фазы в другую, такие как агрегатные превращения, растворение твердых веществ, перераспределение растворенного вещества между двумя растворителями. Гетерогенные превращения лежат в основе многих технологических процессов.

Для наглядного изучения и более глубокого понимания принципов установления равновесия между фазами в лабораторном практикуме всех технологов и химико-технологов выполняется лабораторная работа по теме «Фазовое равновесие. Диаграмма состояния фенол – вода».

Методические указания включают в себя краткую теоретическую часть по фазовому равновесию, методику выполнения лабораторной работы, контрольные вопросы и задания по данной теме.

Необходимые теоретические основы по фазовому равновесию рассмотрены в пособиях [1,2].

Оформление лабораторной работы производится в соответствии с [3]. Образец оформления титульного листа представлен в приложении [А]. Для зачета лабораторной работы студент должен выполнить практическую часть и знать ответы на контрольные вопросы и задания. Самостоятельная подготовка к зачету лабораторной работы позволит студенту освоить теоретический материал и закрепить знания, полученные в лабораторном практикуме при выполнении лабораторной работы.

При подготовке к зачету лабораторной работы также можно пользоваться учебниками по физической и коллоидной химии, представленными в списке использованных источников [4–5].

Фазовое равновесие

Вещества, образующие термодинамическую систему, могут находиться в различных агрегатных состояниях – твердом, жидком и газообразном. Система, между частями которой нет поверхностей раздела, а свойства одинаковы в любой точке, называется **гомогенной**. Если части системы разграничены поверхностями раздела, на которых происходит резкое изменение свойств, то система называется **гетерогенной**.

Любая гетерогенная система состоит из нескольких фаз. **Фаза** – совокупность всех гомогенных частей системы, одинаковых по составу и по всем химическим и физическим свойствам, а так же отграниченных от других частей некоторой видимой или невидимой поверхностью. Например, в системе, состоящей из жидкой воды и льда, все куски льда образуют одну фазу, а вода – другую фазу.

Фазовое равновесие – это равновесие в гетерогенной системе при постоянной температуре и давлении, в которой нет химического взаимодействия между компонентами, а возможны только переходы веществ из одной фазы в другую. Примером фазовых равновесий являются процессы фазовых переходов: плавление, испарение, возгонка (сублимация), растворение.

Условием гетерогенного равновесия является равенство химических потенциалов i -го компонента во всех фазах, т.е.

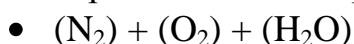
$$\mu_i' = \mu_i'' = \mu_i''' = \dots \quad (1)$$

Компонент – это вещество, входящее в состав системы, которое может быть выделено из системы и существовать вне её длительное время. Например, в водном растворе хлорида натрия компонентами являются вода H_2O и хлорид натрия NaCl .

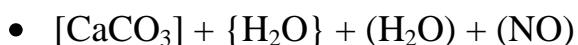
Число компонентов системы (число независимых компонентов системы) – наименьшее количество веществ, с помощью которых можно охарактеризовать состав любой фазы системы.

Число независимых компонентов равно числу компонентов системы за вычетом числа возможных химических уравнений (связей, ограничений), связывающих концентрации этих веществ. Такими ограничениями могут быть: химические реакции, идущие в системе (стехиометрические соотношения веществ в реакциях); константа химического равновесия для равновесной системы.

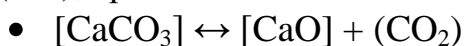
Рассмотрим несколько примеров.



В данной системе одна газообразная фаза, три независимых компонента – N_2 , O_2 , H_2O . Равновесная смесь существует при любых концентрациях каждого из веществ.



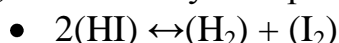
В системе три фазы – твердая $[\text{CaCO}_3]$, жидкая $\{\text{H}_2\text{O}\}$ и газообразная $(\text{H}_2\text{O}) + (\text{NO})$, три независимых компонента – CaCO_3 , H_2O , NO (II).



В данном случае в системе три фазы – две твердых $[\text{CaCO}_3]$ и $[\text{CaO}]$ и одна газообразная (CO_2). Для определения числа независимых компонентов надо учитывать одно химическое ограничение:

– константу равновесия $K_p = p(\text{CO}_2)$

Поэтому от трех компонентов (веществ) мы отнимаем одну константу химического равновесия реакции ($3 - 1 = 2$). Число независимых компонентов равно двум. Состав равновесной системы определится концентрациями только двух произвольно взятых веществ, а концентрация третьего вещества будет иметь строго определенное значение. Физический смысл найденного числа компонентов заключается в том, что имея любые два из перечисленных трех веществ, можно получить равновесную систему.



В данном случае в системе одна газообразная фаза. Для определения числа независимых компонентов надо учитывать два химических ограничения:

– константу равновесия $K_p = p(\text{H}_2) \cdot p(\text{I}_2) / p^2(\text{HI})$

– равенство концентраций H_2 и I_2 .

Поэтому от трех компонентов (веществ) мы отнимаем константу химического равновесия реакции и равенство концентраций ($3 - 2 = 1$). Значит, число независимых компонентов равно единице. Таким образом, при наличии двух уравнений связи в данной системе возможно лишь одно независимое составляющее вещество (компонент). То есть данная система может быть построена из одного вещества – HI , которое, распадаясь, будет образовывать одинаковые концентрации H_2 и I_2 .

Состояние системы характеризуется совокупностью **термодинамических параметров состояния** – давлением p , температурой T , концентрациями C .

Число термодинамических степеней свободы f (число степеней свободы, вариантность системы) – это число параметров состояния системы, которые можно произвольно менять, не изменяя числа и природы фаз. По числу степеней свободы системы делят на невариантные, для которых $f = 0$, моновариантные $f = 1$, дивариантные $f = 2$.

Число степеней свободы f можно рассчитать по **правилу фаз Гиббса**:

$$f = K - \Phi + n \quad (2)$$

В равновесной термодинамической системе **число степеней свободы f равно** числу компонентов системы K минус число фаз системы Φ плюс число термодинамических параметров состояния n , влияющих на систему.

Если учитывать влияние на систему только двух параметров состояния (давления и температуры), то связь между числом фаз Φ , числом независимых компонентов K и числом степеней свободы f для равновесных термодинамических систем выражается правилом фаз Гиббса:

$$f = K - \Phi + 2 \quad (3)$$

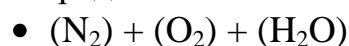
При постоянном давлении (или температуре) уравнение правила фаз Гиббса имеет вид:

$$f = K - \Phi + 1 \quad (4)$$

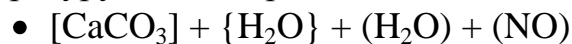
При постоянном давлении и постоянной температуре уравнение правила фаз Гиббса имеет вид:

$$f = K - \Phi + 0 \quad (5)$$

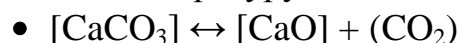
Определим число степеней свободы для приведенных выше примеров:



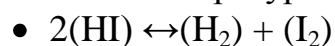
$f = K - \Phi + 2 = 3 - 1 + 2 = 4$. Одновременно без изменения числа и природы фаз можно менять четыре параметра состояния системы – давление, температуру, концентрацию N_2 и концентрацию O_2 .



$f = K - \Phi + 2 = 3 - 3 + 2 = 2$. Одновременно без изменения числа и природы фаз можно менять два параметра состояния системы – например давление и температуру.



$f = K - \Phi + 2 = 2 - 3 + 2 = 1$. Одновременно можно менять только один параметр состояния, например только давление, а при изменении давления изменится и температура.



$f = K - \Phi + 2 = 1 - 1 + 2 = 2$. Одновременно можно менять только два параметра состояния – например давление и концентрацию HI , или давление и температуру.

Диаграммы состояния ограниченной взаимной растворимости двух жидкостей

Все жидкости по растворимости друг в друге можно разделить на три типа:

1 Неограниченно смешивающиеся друг с другом с образованием гомогенных систем (вода – этиловый спирт, бензол – толуол).

2 Практически не растворяющиеся друг в друге (вода – ртуть, вода – бензол).

3 Ограниченно растворяющиеся (вода – фенол, вода – никотин, вода – анилин).

Это явление впервые подробно изучено русским физико-химиком В. Ф. Алексеевым. При ограниченной взаимной растворимости две жидкости образуют раствор в определенной области концентраций и температур, при иных условиях система расслаивается на два разных слоя. Для характеристики таких систем определяют зависимость взаимной растворимости от температуры при постоянном давлении. Затем на основании экспериментальных данных строят диаграммы растворимости в координатах температура – состав.

Различают три типа диаграмм для ограниченно растворяющихся жидкостей. Типы диаграмм представлены на рисунках 1 – 3.

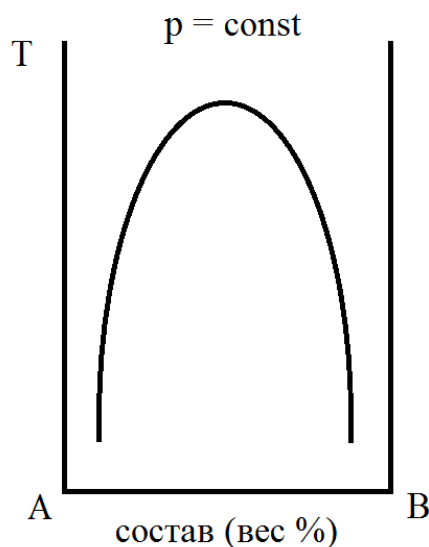


Рисунок 1 – Диаграмма ограниченной взаимной растворимости двух жидкостей с верхней критической температурой растворимости

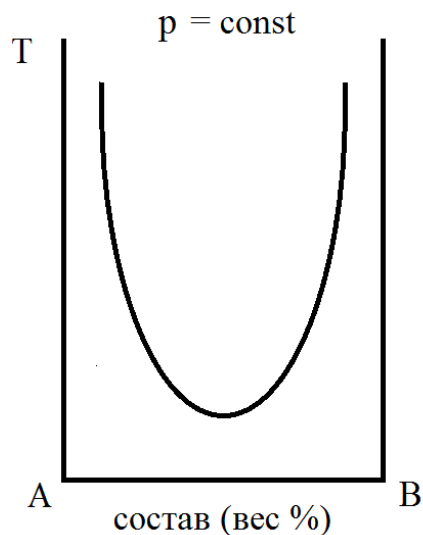


Рисунок 2 – Диаграмма ограниченной взаимной растворимости двух жидкостей с нижней критической температурой растворимости

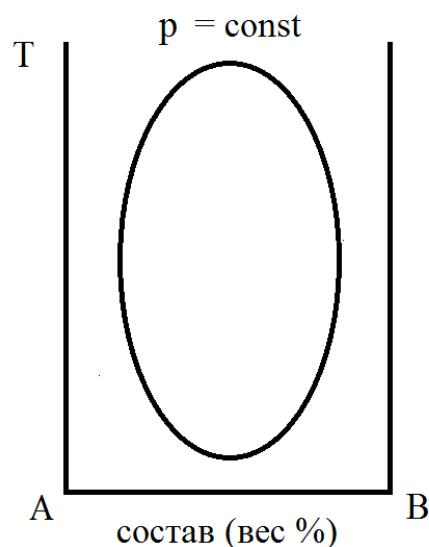


Рисунок 3 – Диаграмма ограниченной взаимной растворимости двух жидкостей с верхней и нижней критическими температурами растворимости

Кривая, ограничивающая гетерогенную область от гомогенной, является кривой расслоения (бинодаль или бинодальная кривая). Область, расположенная за пределами кривой расслоения, является гомогенной. Область, расположенная внутри кривой расслоения, является гетерогенной. Критическая температура – это температура, выше которой на диаграммах с верхней критической температурой и ниже которой на диаграммах с нижней критической температурой жидкости неограниченно растворимы друг в друге.

В данной лабораторной работе будет рассмотрена диаграмма состояния ограниченной взаимной растворимости двух жидкостей с верхней критической температурой растворимости фенол – вода.

Техника безопасности

1 В лабораторной работе используются запаянные стеклянные ампулы, содержащие фенол и воду с определенной концентрацией фенола. При работе с фенолом необходимо помнить, что он оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки и кожные покровы, а в больших количествах вызывает ожоги.

При нарушении целостности ампулы и попадании фенола на кожу необходимо смыть фенол большим количеством воды, а затем водным раствором глицерина. В чистую поверхность кожи втирать ватным тампоном водный раствор глицерина до восстановления нормального цвета кожи. При отсутствии глицерина можно воспользоваться 40–50 % раствором этилового спирта.

2 При работе непосредственно с фенолом необходимо надевать защитные очки, чтобы полностью исключить попадание фенола в глаза. Нагревание фенола проводить только в вытяжном шкафу вследствие его летучести.

При работе с ртутными термометрами следует помнить о высокой ядовитости ртути. Если термометр разбит, немедленно сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

Разлитую ртуть собирают с помощью амальгамированной медной проволоки или вакуумной ловушки. Место, где была разлита ртуть, тщательно смазывают концентрированным раствором хлорного железа (III) и оставляют на сутки, затем моют, сушат и засыпают мелким порошком серы.

3 Перед включением электроприбора в сеть необходимо проверить исправность заземления и исправность изоляции всех токоведущих частей прибора.

При нарушении изоляции и загорании электропроводов следует немедленно отключить общее напряжение и только после этого тушить провода одеялом, огнетушителем или другими средствами. Запрещается тушение проводов любыми способами до выключения рубильника.

Лабораторная работа «Фазовое равновесие. Диаграмма состояния фенол-вода»

1 Цель работы

- получить экспериментальные данные, необходимые для построения диаграммы состояния системы, состоящей из двух ограниченно растворимых жидкостей – фенола и воды;
- построить диаграмму состояния системы фенол – вода;
- исследовать зависимость температуры фазовых превращений в системе фенол – вода от ее состава.

2 Приборы и реактивы

Запаянные стеклянные пробирки, содержащие фенол и воду с определенной концентрацией фенола (10, 20, 30, 40, 50, 60 и 70 вес %), пробирка для воды, термометр на 100 °С, водяная баня, электроплитка.

3 Теоретическое введение

Для системы, образованной двумя жидкостями – фенолом и водой, схема диаграммы состояния представлена на рисунке 4.

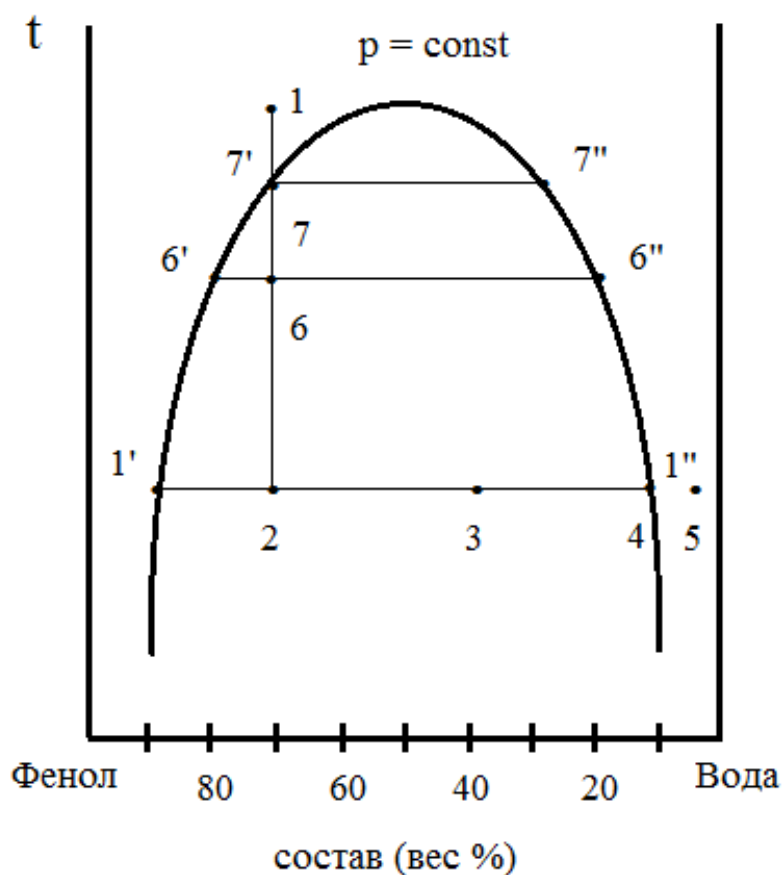


Рисунок 4 – Схема диаграммы состояния фенол – вода

Линия на этом рисунке (бинодаль или бинодальная кривая) является пограничной кривой, разделяющей гомогенную (снаружи) и гетерогенную (внутри) области диаграммы.

Фигуративная точка $(\cdot)1$ находится в гомогенной области диаграммы. Система состоит из одной фазы. Составы системы и единственной фазы совпадают. Чтобы определить этот состав, надо опустить перпендикуляр на ось составов. Для фигуративной точки $(\cdot)1$ определяем состав 30 % воды и 70 % фенола. Фенола больше, значит это раствор на основе фенола (ненасыщенный раствор воды в феноле). Ненасыщенность раствора означает, что при добавлении воды расслоения системы на две фазы не происходит, и значит вода продолжает растворяться в феноле.

Число степеней свободы для фигуративной точки $(\cdot)1$ находится по уравнению $f = K - \Phi + n = 2 - 1 + 1 = 2$. Расшифруем эту запись.

$K = 2$, так как в системе два компонента – фенол и вода;

$\Phi = 1$, так как в системе одна фаза – ненасыщенный раствор воды в феноле;

$n = 1$, так как в системе один переменный параметр – температура T (давление p зафиксировано).

$f = 2$, число степеней свободы, равное двум, означает, что система является дивариантной, т.е. без изменения числа и природы фаз одновременно произвольно можно менять два параметра состояния системы (температуру и состав системы).

Фигуративная точка $(\cdot)2$ находится в гетерогенной области диаграммы (в области расслаивания). Фигуративная точка $(\cdot)2$ показывает состав системы: 30 % воды и 70 % фенола. Чтобы определить состав сосуществующих фаз, необходимо провести ноду. Нода – это линия, параллельная оси составов и соединяющая составы сосуществующих фаз. Точки пересечения ноды с бинодалью (точки $1'$ и $1''$) определяют состав сосуществующих фаз. При опускании перпендикуляра из точки $(\cdot)1'$ определяем состав фазы $1'$ – 12 % воды и 88 % фенола. Фаза $1'$ представляет собой насыщенный раствор воды в феноле. При опускании перпендикуляра из точки $(\cdot)1''$ определяем состав фазы $1''$ – 88 % воды и 12 % фенола. Фаза $1''$ представляет собой насыщенный раствор фенола в воде. Насыщенность раствора означает, что при добавлении воды или фенола к системе данные компоненты не растворяются друг в друге.

Число степеней свободы для фигуративной точки $(\cdot)2$ находится по уравнению $f = K - \Phi + n = 2 - 2 + 1 = 1$.

$K = 2$, так как в системе два компонента – фенол и вода;

$\Phi = 2$, так как в системе две фазы – насыщенный раствор воды в феноле (фаза $1'$) и насыщенный раствор фенола в воде (фаза $1''$);

$n = 1$, потому что в системе один переменный параметр – температура T (давление p зафиксировано).

$f = 1$, число степеней свободы, равное 1, означает, что система является моновариантной, т.е. без изменения числа и природы фаз одновременно произвольно можно менять только один параметр состояния системы (или температуру, или состав системы).

Численно массы сосуществующих фаз можно определить с использованием правила рычага:

$$m_1 \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$$

Согласно этому правилу, чем больше плечо l , тем меньше масса m .

Для фигуративной точки (·)2 $l_1 < l_2$, следовательно, $m_1 > m_2$. Значит, в фигуративной точке (·)2 масса m_1 фазы 1' больше массы m_2 фазы 1".

Чтобы перейти из фигуративной точки (·)2 в фигуративную точку (·)3, в систему необходимо добавить немного воды. При этом меняется состав системы: 62 % воды и 38 % фенола, а состав фаз остается постоянным. Для фигуративной точки (·)3 состав фаз определяется с помощью ноды и совпадает с точками 1' и 1". Однако при этом меняется масса сосуществующих фаз. Для фазы 1' плечо l_1 увеличивается, значит, масса фазы 1' будет уменьшаться. Для фазы 1" плечо l_2 уменьшается, значит, масса фазы 1" будет увеличиваться.

При дальнейшем добавлении воды мы смещаемся по ноде вправо и попадаем в фигуративную точку (·)4. При этом система становится практически однофазной и имеет состав фазы 1", соответствующий этой точке, а фазы 1' остается бесконечно мало. Плечо, соответствующее фазе 1" равно точке, значит, масса этой фазы значительно превышает массу фазы 1'.

Дальнейшее малейшее добавление воды – и фигуративная точка оказывается в однофазной области ненасыщенного раствора фенола в воде – точка (·)5.

Число степеней свободы при перемещении от фигуративной точки (·)2 к фигуративной точке (·)4 равно $f = K - \Phi + n = 2 - 2 + 0 = 0$ (два компонента, две фазы, ноль переменных параметров, т.к. $p, T = \text{const}$).

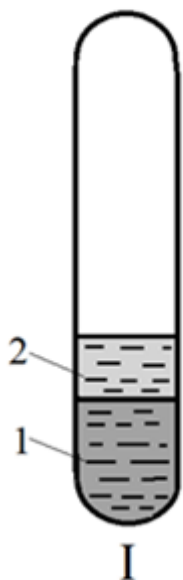
Рассмотрим, что будет происходить в системе, соответствующей фигуративной точке (·)2, если мы будем постепенно ее нагревать. При повышении температуры до фигуративной точки (·)6 в системе остается две фазы: 6' – насыщенный раствор воды в феноле и 6" – насыщенный раствор фенола в воде. При этом по сравнению с фазой 1' фаза 6' будет обогащаться водой, а фаза 6" по сравнению с фазой 1" – фенолом. То есть при повышении температуры взаимная растворимость компонентов будет увеличиваться. Масса фазы (') будет увеличиваться, а фазы (") – уменьшаться. В фигуративной точке (·)7 также существуют две фазы – 7' и 7", но состав фазы 7' полностью совпадает с составом системы. Плечо в данном случае равно точке, значит масса фазы 7' значительно превышает массу фазы 7" (ее остается бесконечно мало). При дальнейшем повышении температуры полностью исчезает фаза 7" и мы переходим в гомогенную однофазную область ненасыщенного раствора воды в феноле – фигуративная точка (·)1.

4 Методика выполнения

Для изучения взаимной растворимости двух жидкостей используют метод В.Ф. Алексеева. Метод заключается в следующем: в ампулах готовят смеси, содержащие фенол и воду, с определенной концентрацией фенола (10, 20, 30, 40, 50, 60 и 70 вес %) и запаивают.

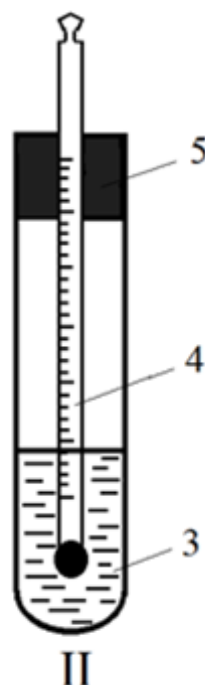
Эти ампулы нагреваются на плитке при помощи водяной бани. Термометром с точностью $\pm 0,1$ °С фиксируется температура исчезновения одной из фаз при нагревании и температура ее образования при охлаждении.

Опыт проводят с запаянной ампулой I (рисунок 5), содержащей смесь фенола и воды, и пробиркой II (рисунок 6). В пробирку II наливают дистиллированную воду комнатной температуры в таком же объеме, как объем смеси в ампуле I, с учетом объема воды, вытесняемой термометром, погруженным в пробирку с водой. Пробирку закрывают пробкой с термометром. Ртутный шарик термометра должен быть погружен в воду. Ампулу и пробирку одновременно погружают в водяную баню. Смесь в ампуле I и вода в пробирке II должны иметь одинаковую температуру, потому что температуру в опыте измеряют по термометру, находящемуся в пробирке с водой. Ампулу и пробирку одновременно непрерывно встряхивают в водяной бане и постоянно наблюдают за смесью в ампуле.



1 – слой раствора воды в феноле;
2 – слой раствора фенола в воде

Рисунок 5 – Запаянная ампула (I)
со смесью фенола и воды



3 – вода;
4 – термометр;
5 – пробка

Рисунок 6 – Пробирка (II)
с водой и термометром

Отмечают температуру, при которой смесь становится прозрачной (однофазной, гомогенной). После этого баню с водой медленно охлаждают (снимают с плитки), ампулу и пробирку встряхивают в бане и отмечают температуру, при которой смесь становится мутной (двухфазной, гетерогенной). Температура гомогенизации и температура гетерогенизации при нагревании и охлаждении должны отличаться не более чем на 1 °С.

С каждой смесью опыт проводят два раза и определяют две температуры гомогенизации и две температуры гетерогенизации.

Ограниченная взаимная растворимость жидкостей означает, что растворимость их зависит от соотношения жидкостей в смеси и от температуры. Поэтому в опыте нужно быть внимательным и иметь в виду, что каждая смесь фенола и воды имеет свою температуру гомогенизации. Перед проведением опыта со следующей ампулой в пробирку II следует налить дистиллированную воду комнатной температуры.

5 Результаты работы

Полученные результаты необходимо представить в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты измерения температуры фазовых превращений

Концентрация фенола ω , %	Температура гомогенизации	Температура гетерогенизации	Температура гомогенизации	Температура гетерогенизации	Температура средняя
10					
20					
30					
40					
50					
60					
70					

Средние величины из четырех значений температуры, полученных в опыте ($\pm 0,5$ °C), используются для построения диаграммы состояния фенол – вода. Диаграмма состояния строится на миллиметровой бумаге, масштаб оси состава – 100 мм.

6 Заключение (выводы)

- получены экспериментальные данные для построения диаграммы состояния двух ограниченно растворимых жидкостей – фенола и воды;
- построена диаграмма состояния системы фенол – вода;
- исследована зависимость температуры фазовых превращений в системе фенол – вода от ее состава.

7 Вопросы для зачета лабораторной работы (по рисунку 4)

- 1 Состав системы (фигуративная точка) и состав фаз – всегда ли они совпадают?
- 2 Определите число и состав фаз в системах, заданных фигуративными точками (·)1 и (·)2?
- 3 Как определить число степеней свободы для фигуративных точек (·)1 и (·)2?
- 4 Каковы качественные отличия в фигуративных точках (·)1 и (·)2?

- 5 Что такое нода, проведите ее через заданную точку в гетерогенной области. Какую информацию о системе можно при этом получить?
- 6 Поясните использование правила рычага для фигуративных точек (·)2, (·)3 и (·)4, а также для фигуративных точек (·)6 и (·)7?
- 7 Что произойдет в системе, соответствующей фигуративной точке (·)2, если в нее добавить немного воды? Изменится ли количество фаз, их масса и состав?
- 8 Каково число степеней свободы в фигуративной точке при ее движении по ноде?
- 9 Что происходит в системе при ее нагревании от фигуративной точки (·)2 до фигуративной точки (·)1? Как при этом изменяется состав и масса сосуществующих фаз?
- 10 Что происходит в системе при охлаждении системы, соответствующей фигуративной точке (·)1? Как при этом изменяется состав и масса сосуществующих фаз?
- 11 При перемещении по диаграмме из фигуративной точки (·)2 в фигуративную точку (·)4 изменяется и состав системы, и температура. Соответствует ли это правилу фаз Гиббса ($f = 1$)?

Список использованных источников

- 1 Поляченко, О.Г. Физическая и коллоидная химия: конспект лекций / О.Г. Поляченко, Л.Д. Поляченко. – Могилев: МГУП, 2008. – 196 с.
- 2 Поляченко, О.Г. Физическая и коллоидная химия. Практикум: учебное пособие / О.Г. Поляченко, Л.Д. Поляченко. – Минск: Лаб. полиграфии УО БГТУ, 2006. – 380 с.
- 3 Общие требования и правила оформления текстовых документов: СТП 15-06-2004. – Могилев: МГУП, 2004. – 42 с.
- 4 Основы физической химии [Текст]: учебное пособие для вузов в 2 ч. Ч. 1. Теория / В.В. Еремин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 320 с.
- 5 Основы физической химии [Текст]: учебное пособие для вузов в 2 ч. Ч. 2. Задачи / В. В. Еремин [и др.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 263 с.

Приложение А

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Могилевский государственный университет продовольствия»

Кафедра химии

Фазовое равновесие. Диаграмма состояния фенол – вода

Лабораторная работа
по дисциплине «Физическая и коллоидная химия»

специальность _____

специализация _____

Проверил _____

« ____ » _____ 20 ____ г

Выполнил
студент группы _____

« ____ » _____ 20 ____ г.

Могилев 20 ____